

ной величины равна нулю имеет место только для тензоров нулевого ранга, то есть когда постоянная величина является скаляром.

### Литература

1. Димитриенко, Ю.И. Тензорное исчисление: учебное пособие / Ю.И. Димитриенко. – М. : Высш. шк., 2001.-575 с.

**К.Л. Стакалюк, В.М. Старченко** (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)  
Науч. рук. **В.И. Кондратенко**, ст. преподаватель

### ГИРОТРОПНАЯ МЕТАСРЕДА

В настоящее время существенный интерес вызывают двумерные и трехмерные структуры с различной симметрией, которые могут быть созданы, например, из отдельных макроскопических элементов. С использованием трехмерных конструкций оболочек резонаторов электромагнитный отклик метаматериала задается во всех трех измерениях, это и есть новый шаг в области метаматериалов ТГц-диапазона и позволяет создавать метаматериалы с исключительно новыми свойствами [1].

При характеристике сред, у которых числовые значения диэлектрической и магнитной проницаемости одинаковы, обычно главное внимание уделяется отсутствию отражения электромагнитных волн на поверхности среды. Также дополнительной причиной для изучения этой проблемы стало создание новых искусственных анизотропных структур – метаматериалов, проявляющих особые свойства, которыми не обладают естественные среды [2].

Научный и практический интерес представляют системы с искусственной анизотропией. Наблюдается направленность к созданию и исследованию метаматериалов для ТГц-диапазона, поскольку в настоящее время техника ТГц-диапазона стремительно развивается. Ассортимент электромагнитных свойств существующих материалов в этом диапазоне мал, но есть материалы с эффективными нелинейными и другими свойствами, широко применяемые в оптическом диапазоне. Поэтому применение подобных материалов особенно востребовано в ТГц-диапазоне [3].

В настоящей работе предлагаются результаты экспериментального исследования гиротропной метасреды, образованной совокупностью планарных элементов с анизотропией проводимости. Прохождение

ние и отражение электромагнитной волны через две скрещенных решетки, выполняющие соответственно роли анализатора и поляризатора, рассмотрено в работе [4]. С учетом частичного прохождения и отражения от каждой структуры, а также переотражений внутри системы, получены выражения для эффективных коэффициентов отражения и прохождения соответственно в виде:

$$R_{\text{эф}} = -\frac{\sin^2 \alpha e^{i2\varphi}}{1 - \cos^2 \alpha e^{i2\varphi}} \quad (2)$$

и

$$T_{\text{эф}} = \frac{\cos^2 \alpha e^{i2\varphi} (1 - e^{i2\varphi})}{1 - \cos^2 \alpha e^{i2\varphi}}, \quad (3)$$

где  $\alpha$ -угол между поляризаторами,  $\varphi$  – набег фазы при прохождении волны в пространстве между поляризаторами.

Данное рассмотрение и его теоретический результат позволяют судить о возможности создания метасред, обладающих интересными особенностями, и позволяющими рассматривать их в роли модели для описания процессов в гиротропных средах с планарной структурой. Модель среды представлена на рисунке 1 (справа). Каждый дискрет выполнен в виде решётки линейных проводников на пенополистирольном основании, расстояние между которыми, составляет 5 мм. Число таких проводников на одной пластинке составляет 43, размер каждого 25 см. Число дискретов в свою очередь 4. Каждая пластина развёрнута относительно предыдущей на угол  $30^\circ$  и, таким образом, направления решёток на входе и на выходе элемента ортогональны. Среда представляет собой модель гиротропного кристалла типа холестерика с планарной структурой. Исследование параметров пропускания, отражения и вращения плоскости поляризации проводилось на установке, схема которой представлена на рисунке 1.

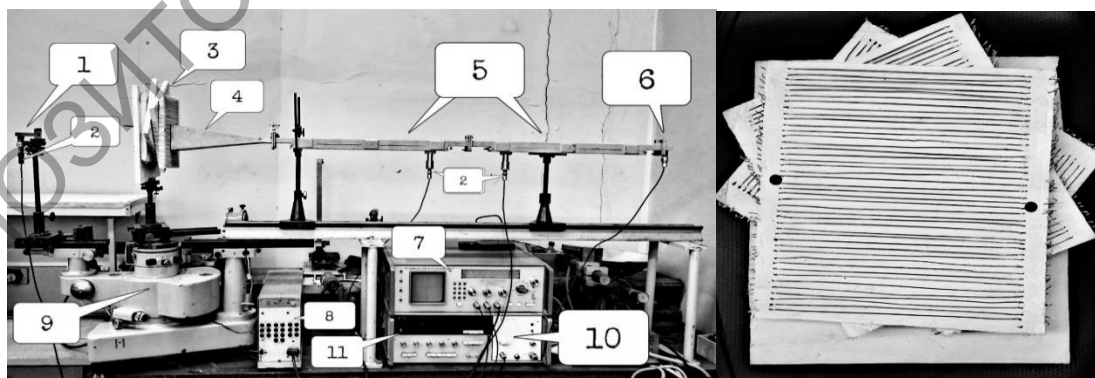


Рисунок 1 – Используемая установка:

- 1 – приемник; 2 – детектор; 3 – метасреда; 4 – излучающая антенна;
- 5 – направленные ответвители; 6 – излучающая головка; 7 – индикатор;
- 8 – блок питания; 9 – гониометр; 10 – блок СВЧ; 11 – блок управления

Излучение рупорной антенны, поляризованное в вертикальной плоскости, направлялось на исследуемый элемент, частично отражалось от него, и частично проходило через анализируемую метасреду. Отраженное излучение принималось рупорной антенной, которая играла роль как излучающей, так и приемной антенны. Разделение падающей и отраженной волн производилось при помощи рефлектометра. Для прошедшего излучения регистрировалась амплитуда волн исходной и ортогональной поляризаций, а также диаграмма направленности при помощи гониометрической установки.

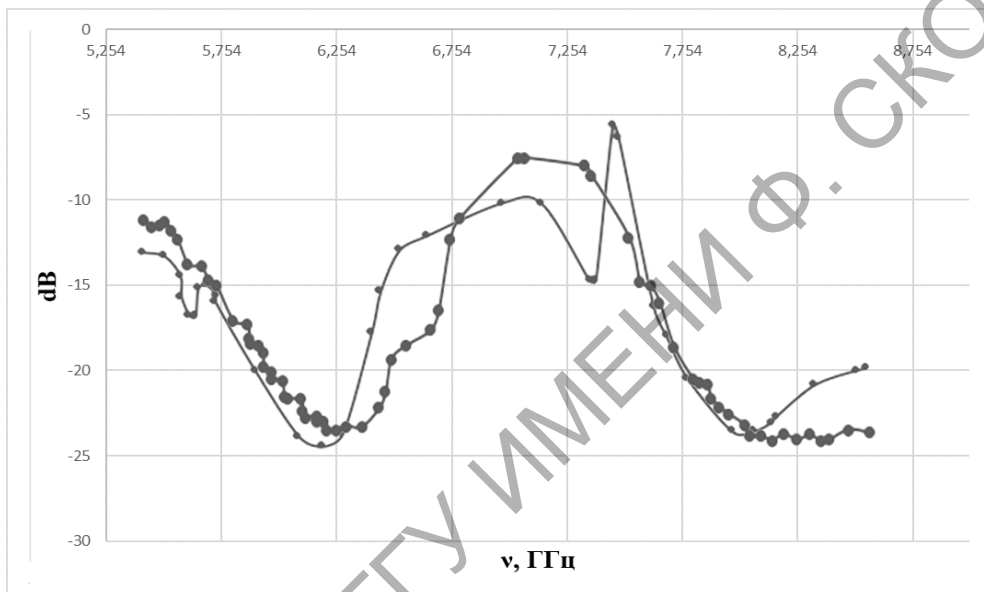


Рисунок 2 – Частотная зависимость амплитуды прошедшей волны

На рисунке 2 представлена зависимость коэффициента передачи через свободное пространство (для исходной поляризации) и через исследуемую среду (для ортогональной поляризации). Передача через свободное пространство анализировалась для определения аппаратной функции. Очевидно хорошее совпадение обоих графиков, а также их характерная частотная зависимость. В диапазонах частот 5,25 – 6,25 ГГц и 6,75 – 8,4 ГГц пропускание метасреды лучше, чем пропускание свободного пространства, а в диапазонах 6,25-6,75 ГГц и от 8,8 ГГц- хуже. Однако- в целом картина совпадает. Некоторая парадоксальность результата – пропускание лучше, чем для свободного пространства – на самом деле имеет простое объяснение. Представленная картина переходной функции носит интерференционный характер ввиду проведения измерений в ближней зоне излучения, и исследуемая метасреда, внося дополнительную фазовую задержку просто сдвигает эту картину в частотной плоскости. Более сложный ха-

рактически для свободного пространства, по всей видимости, обусловлен отражением сигнала от металлических предметов, в то время как метасреда играла одновременно и роль экранирующей оболочки. Значение ослабления для исходной поляризации по сравнению с повернутой составляет не менее 20дВ, и потому представление данной частотной зависимости целесообразным не является.

Аналогичный результат можно получить на основании исследования частотной зависимости коэффициента отражения. На рисунке 3 представлены графики обратного рассеяния в зависимости от частоты для различных углов падения волны на структуру.

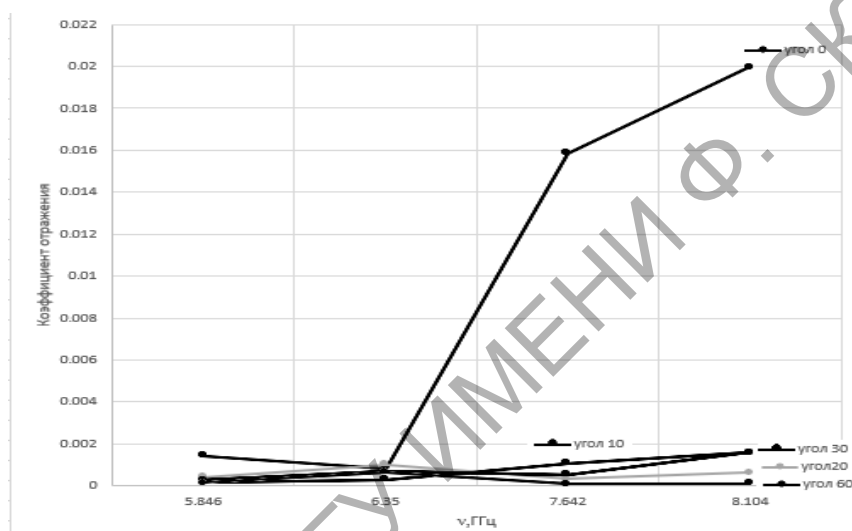


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента отражения в Е-плоскости на частотах 5,846 – 8,104 ГГц

Следует отметить, что в анализируемом диапазоне от 5,35 ГГц до 8,59 ГГц отражение для ориентации расположения проводников входного элемента в Н-плоскости было неотличимо от отражения для КЗ элемента, т.е. сплошной металлической поверхности. Для расположения в Е-плоскости сигнал монотонно возрастал от -16 дВ для частоты 5,3 ГГц до -6 дВ для 8,5 ГГц, в то время как для свободного пространства он падал от -16,5 дВ до -19 дВ.

Пропускание моделируемой среды имеет также характерный вид и имеет тенденцию к снижению с возрастанием частоты излучения. Если в начале указанного диапазона ослабление в элементе по интенсивности не хуже -1,5 дВ, то в области высокочастотного края диапазона оно снижается до -7 дВ.

Рассмотрение, проведенное теоретически в цитируемом источнике, не предполагает подобной зависимости для идеального элемента. Следует предположить, что причина кроется в дискретности структу-

ры отдельного плоского элемента. Действительно, с увеличением частоты, а, следовательно, с уменьшением длины волны излучения ухудшается соотношение между шагом дискрета и длиной волны, т.е. увеличиваются электрические размеры неоднородностей.

Вместе с тем в расчётных кривых имеет место зависимость между коэффициентами пропускания и отражения с одной стороны, и фазовой задержкой в пространстве между элементами с другой, однако эта зависимость носит немонотонный характер. Для уточнения причин зависимости пропускания от частоты необходимо проведение дополнительных исследований в более широком диапазоне длин волн, как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения частоты.

В результате сравнения экспериментальных графиков и результатов моделирования можно сделать вывод, что предложенная модель удовлетворительно описывает свойства искусственной гиротропной среды с планарной структурой.

### Литература

1. Семченко, И.В. Преобразование поляризации электромагнитных волн при помощи спиральных излучателей / И.В. Семченко, С.А. Хахомов, А.Л. Самофалов // Радиотехника и электроника. – 2007. – Т. 52. – № 8. – С. 1-6.

2. Самофалов, А.Л. Моделирование и исследование искусственных анизотропных структур с большой киральностью в СВЧ диапазоне / А.Л. Самофалов, И.В. Семченко, С.А. Хахомов // Проблемы физики, математики и техники. – 2011. – №3(8).

3. Исследование свойств искусственных анизотропных структур с большой киральностью / И.В. Семченко [и др.] // Кристаллография. – 2011. – Т. 56. – № 3. – С. 404–411.

**А.И. Толкачёв** (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В.Н. Капшай**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПОЛНОЙ МОЩНОСТИ ГЕНЕРАЦИИ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ-СУММАРНОЙ ЧАСТОТЫ В ТОНКОМ СФЕРИЧЕСКОМ СЛОЕ**

**Введение.** Изучение оптических свойств малых частиц проводят с помощью явлений генерации второй гармоники (ГВГ) [1] и генерации суммарной частоты (ГСЧ) [2], для которых довольно хорошо разрабо-